

一般にゲルは高分子から構成されるが、超分子ゲルは低分子が非共有結合で形成されている。生体内では、非共有結合が簡単につながったり離れたりできる性質を巧みに利用して、さまざまな生命活動が行われている。そのため、超分子ゲルには、薬を適切な患部へ届ける薬物送達システム、傷んだ組織の代わりとなる人工組織材料、有害物質を吸着する環境材料など、次世代の機能性材料としての期待が集まっている。

明治薬科大学の木村真也講師、山中正道教授、名古屋大学の内橋貴之教授、静岡大学の河合信之輔准教授、千葉大学の矢貝史樹教授を中心とする研究チームは、帝京科学大学、コンプレックス、分子科学研究所との共同研究により、超分子ゲルのナノスケールでの詳細な形成過程を動画として捉えることに世界で初めて成功し、超分子ゲルの形成メカニズムを解明した。Nature Communicationsに掲載された。

「超分子ゲル」形成メカニズム

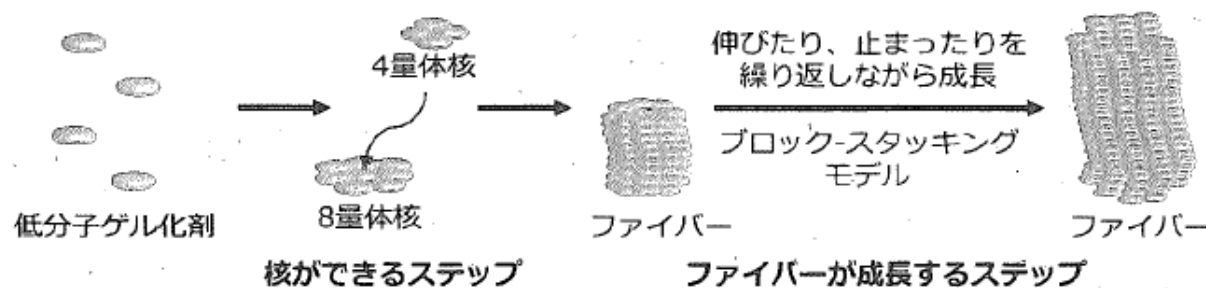
ファイバー成長一時停止期も

明治薬科大・名古屋大など解明

これまでの研究では、超分子ゲルは、①低分子ゲル化剤が非共有結合でつながり、細い繊維（ファイバー）ができ、②そのファイバーが束になって、より太い繊維（ファイバー）になる、③そのファイバーが網のような構造を作り、液体を内部に取り込むことでゲルになる、と考えられている。しかし、ファイバーやファイバーがどのように形成され、成長していくのか、詳しいメカニズムはわかっていない。超分子ゲルの性質はファイバーの性質に強く依存するため、メカニズムを明らかにすることができれば、超分子ゲルの物性や機能を制御することが可能になり、機能性材料の開発を強力に推進できるようになる。

研究チームは、高速原子間力顕微鏡を使い、超分子ゲルを構成するファイバーが成長していく過程を「動画」として観察することに成功した。観察の結果、

超分子ができるメカニズム



これまで考えられていたような細い繊維（ファイバー）は見られず、最初から太い超分子ファイバーが成長していく様子が見えた。さらに、ファイバーの成長は一気に進むのではなく、「伸びる↓止まる↓また伸びる」という動きを繰り返していることがわかった。

この不思議な動きについて、研究チームは「ブロック・スタッキングモデル」という新しい理論を提案した。この理論では、分子が積み木のように整列して繊維の先端に積み上がっていくことで、上向きにファイバーが伸長していくと考える。そして、ファイバーの先端がデコボコしているときには、新たに結合してくる分子が、横に隣接している分子と非共有結合を作って安定化でき、くっつきやすいので、成長が進む。一方で、ファイバーの先端がそろって平らになると、新しい分子が結合しにくくなるため、一時的に成長が止ま

ると考えられる。研究チームは、この仕組みにもとづいたコンピュータシミュレーションを行い、観察で見られた「伸びる↓止まる↓また伸びる」という動きを再現できることを確認した。

さらに、このファイバーの形成が最初どのようにして始まるのかについても迫った。ゲル化が起こる様子を詳細に画像解析することで、最初に少数個の分子からなる核ができるステップと、その核に他の分子が結合することでファイバーが成長するステップに分かれていることを明らかにした。そしてゲル化時間を統計解析することで、その核が何個の分子から形成されているかを推定できた。

これにより、超分子ゲルを構成するファイバーが形成し、成長していく過程の全容を解明した。

今回の成果によって、超分子ゲルの研究が飛躍的に進展し、将来的には超分子ゲルの性質を自在に制御できるようになると考えられる。

DDSなど次世代材料に期待